



L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE CHANGE

et peut ouvrir la voie
à la décarbonation



LA COURSE EST LANCÉE

Une nouvelle génération de réacteurs nucléaires est en train de voir le jour. Les petits réacteurs seront plus compacts et moins complexes que les grands réacteurs à eau légère (REL) en service aujourd'hui. Ils seront également assemblés de manière modulaire, ce qui signifie qu'ils pourront être principalement construits dans un environnement

contrôlé, puis installés module par module sur le site où ils seront déployés. Les petits réacteurs modulaires (ou SMR) comme on les appelle collectivement, sont particulièrement adaptés à l'industrie lourde et aux pays moins avancés en matière d'énergie nucléaire.



Le développement actuel des SMR peut être comparé à la course à l'espace des années 1950 et 1960. À l'époque, des avancées significatives en matière de technologie et d'ingénierie ont alimenté la concurrence mondiale entre les différents pionniers dont l'ambition était de prendre la tête d'une technologie inédite dans un territoire inexploré. Actuellement, environ 1 800 projets SMR dans le monde sont en phase de discussion en vue d'une construction potentielle, et ce chiffre est en augmentation.

Des entreprises comme Rolls Royce, General Electric, Westinghouse et EDF s'appuient sur leur vaste expérience en matière de conception pour développer des réacteurs à eau légère compacts, basés sur une technologie mature. Pendant ce temps, les nouvelles sociétés de réacteurs avancés (AR) abordent la conception des réacteurs et le combustible nucléaire associé avec de nouvelles perspectives qui incluent des caractéristiques de sécurité inhérentes et des cas d'utilisation étendus. Les acteurs établis du secteur nucléaire et les entreprises émergentes sur le marché partagent un intérêt commun autour de la recherche et de l'innovation.

Pourtant, malgré des idées et des approches intéressantes proposées de façon multilatérale, les développements tangibles à grande échelle tardent encore à se matérialiser, laissant les observateurs dans l'expectative quant au fournisseur et à la technologie qui s'imposeront dans cette course aux SMR.

COMMENT LES PETITS RÉACTEURS NUCLÉAIRES SERONT UTILISÉS

Les services publics d'électricité sont sous pression pour abandonner le gaz et le charbon afin de décarboner leur portefeuille de production d'électricité tout en augmentant leur capacité de production pour répondre à la demande commerciale et industrielle d'énergie propre. Les SMR peuvent aider le secteur des utilities à se décarboner et facilement être intégrés sur des sites nucléaires existants, ou réalimenter des installations au charbon ou au gaz disposant d'une infrastructure existante et de solides connexions au réseau. Pour les utilities, l'un des principaux avantages réside dans le fait que les SMR permettent de moderniser les installations de production d'électricité au charbon en remplaçant la source de vapeur, tout en préservant le système de conversion d'énergie existant. Les sociétés de services publics disposent déjà d'une expérience considérable en matière d'exploitation des grands actifs de production d'électricité, qui peuvent inclure l'énergie nucléaire. Cette expérience opérationnelle réduit les barrières à l'entrée sur le marché et les place dans une bonne position pour offrir assistance et collaboration aux nouveaux entrants dans le secteur de l'énergie nucléaire. En outre, le coût et la construction des SMR sont moins risqués que ceux des grands réacteurs nucléaires, tandis que leur densité de puissance élevée et stable en fait un ajout précieux au portefeuille d'utilities d'une entreprise.

Si le déploiement du nouveau nucléaire semble évident pour les utilities électriques, les SMR présentent de nouveaux avantages uniques qui bouleversent ce paradigme et élargissent l'utilisation du nucléaire au-delà des utilities. Ces bouleversements causés par les SMR doivent être acceptés au niveau des conseils d'administration comme du grand public. Les SMR sont évolutifs et intègrent des technologies avancées qui fournissent à la fois de la chaleur industrielle et de l'électricité. Les SMR offrent non seulement une densité de puissance inférieure à celle des grands réacteurs nucléaires, mais ils sont également moins encombrants.

Grâce à leur taille réduite, les SMR peuvent être implantés à proximité de la demande, qu'il s'agisse de sites industriels ou de villes ayant besoin d'électricité. De plus, l'implantation au plus près de la demande et la réduction de la production d'électricité simplifient fortement les connexions au réseau, ce qui entraîne parfois des délais et des coûts considérables dans le cas des grands réacteurs nucléaires. En résumé, les SMR offrent une technologie révolutionnaire qui élargit à la fois les cas d'utilisation et la clientèle de l'énergie nucléaire.

Les industries lourdes, telles que l'exploitation minière, envisagent également les SMR comme un moyen de s'affranchir des sources d'énergie à forte intensité de carbone, comme les générateurs diesel dans les grandes mines isolées. D'autres industries gourmandes en énergie, telles que les installations pétrochimiques et la production d'acier, peuvent également être décarbonées grâce aux SMR. Les réacteurs avancés à haute température peuvent fournir à la fois de la vapeur industrielle, essentielle pour de nombreux processus, et de l'électricité, ce qui en fait une plate-forme idéale pour la décarbonation.



Les SMR ont également suscité un intérêt considérable de la part des secteurs technologique et commercial, qui s'efforcent d'atteindre la neutralité carbone et de réduire les émissions secondaires en raison de leur forte demande en énergie électrique, par exemple pour alimenter les centres de données.

Les SMR offrent également un moyen alternatif et fiable de produire de l'électricité. Cela inclut l'électrification des économies émergentes qui dépendent largement des combustibles fossiles, principalement des centrales au fioul plus anciennes ou des groupes électrogènes distribués au diesel ou au gaz. Des réacteurs avancés intrinsèquement sûrs pourraient permettre le déploiement à grande échelle de l'énergie nucléaire dans les économies émergentes et les communautés isolées tout en maintenant la sûreté et l'assurance nucléaires.

Les réacteurs micro-modulaires (petits SMR jusqu'à 15 MWe) peuvent alimenter les communautés isolées, l'industrie légère et les marchés mal desservis avec une énergie électrique fiable et constante. Leur conception simplifiée permet de réduire à la fois les coûts d'installation et d'exploitation, ce qui les rend attrayants pour les économies émergentes.

Que sont les réacteurs avancés (AR) ?

Les AR, ou réacteurs de génération IV, sont de nouvelles conceptions de réacteurs refroidis par gaz ou par métaux liquides/sels fondus et utilisant de nouvelles conceptions de combustible intrinsèquement sûres avec un enrichissement plus élevé. Ainsi, extrêmement compacts, ils peuvent fournir à la fois de la chaleur (pour la vapeur industrielle ou le chauffage urbain) et de l'électricité, tout en bénéficiant de longs cycles de ravitaillement. Ils peuvent être relativement petits, avec des capacités électriques allant de 15 à 100 mégawatts. Ils sont facilement combinés en un seul site en fonction des besoins en énergie. Cela signifie qu'ils conviennent à de nombreux cas d'utilisation, ce qui leur confère une plus grande souplesse opérationnelle que l'énergie nucléaire conventionnelle.

Toutefois, il est important de noter que, malgré leurs avantages potentiels, les réacteurs avancés s'appuient sur des technologies différentes de celles des SMR et sont actuellement en cours de développement pour un déploiement commercial à grande échelle. Avant de pouvoir être déployés à grande échelle, les réacteurs avancés doivent passer par des cycles de recherche et de développement, ainsi que par le prototypage. En outre, leur chaîne d'approvisionnement en combustible est en cours de développement pour répondre à la fois aux besoins en uranium hautement titré et faiblement enrichi (HALEU) et au conditionnement du combustible associé, tandis que la chaîne d'approvisionnement en combustible conventionnel mature est robuste et établie. Les réacteurs avancés occuperont certainement une place importante sur le marché de l'énergie, mais ce sont leurs homologues plus grands, les SMR, qui mèneront la première vague du nouveau nucléaire.

LA FORTUNE FAVORISE LES AUDACIEUX

Pour atteindre les objectifs de zéro émission nette, environ 130 SMR devront être déployés chaque année d'ici à 2040. Il s'agira d'un défi considérable, même dans des secteurs bien établis comme l'automobile. En effet, la conception d'une nouvelle voiture à grande échelle peut prendre au moins cinq ans.

Actuellement, plusieurs projets pilotes sont menés en Amérique du Nord pour démontrer la viabilité technique et commerciale des SMR, la première mise en service étant attendue vers la fin de cette décennie.

La vitesse est la clé ici. Les fournisseurs doivent avancer le plus rapidement possible, qu'il s'agisse d'obtenir des licences, de finaliser des conceptions détaillées, de construire des produits innovants ou de démontrer la viabilité commerciale de la technologie en se basant sur les calendriers de construction, les coûts, la fiabilité à long terme et la disponibilité.

Plus tôt les produits « premiers du genre » seront construits et déployés, plus tôt ils pourront être fabriqués à l'échelle nécessaire pour atteindre les objectifs de neutralité carbone.

Certains fournisseurs, tels que GE-Hitachi, Westinghouse, Rolls-Royce et EDF, réduisent les conceptions conventionnelles éprouvées. Ainsi, un réacteur de 1 000 mégawatts laisse la place à un réacteur, réduit et simplifié, de 300 mégawatts.

Le calendrier difficile pour atteindre la première puissance et le risque de dépassements importants

de coûts et de calendrier signifient que les leviers numériques seront très importants. Ils offrent des moyens d'accélérer les différentes étapes du processus de conception, de construction et de mise en service. Les fournisseurs de réacteurs peuvent profiter des progrès considérables des technologies numériques et des antécédents réussis de grands projets d'investissement dans d'autres secteurs, tels que le pétrole, le gaz et l'aérospatiale.

Ils peuvent utiliser ces leviers pour accélérer la mise sur le marché, contrôler les coûts et démontrer leur viabilité commerciale.

L'innovation sera la clé pour les fournisseurs. Mais les fournisseurs ne sont pas les seuls à devoir faire preuve d'audace. L'adoption des SMR à grande échelle va bouleverser l'ensemble du secteur de l'énergie et exige que toutes les parties prenantes, y compris les utilisateurs finaux, adoptent une approche déterminée et innovante. Tout comme les SMR représentent des technologies avancées, réduisent la complexité et augmentent la fiabilité, les utilisateurs finaux devront réévaluer leurs modèles opérationnels et créer de nouvelles solutions à partir de la base numérique de leurs fournisseurs SMR. La collaboration permettra aux gouvernements, aux instituts de recherche et aux entreprises privées de partager leurs connaissances, leurs ressources et leurs financements. De tels partenariats public-privé peuvent accélérer les efforts de recherche, de développement et de déploiement en tirant parti de l'expertise collective des parties prenantes.





LA CONTINUITÉ NUMÉRIQUE EST LE CARBURANT DE LA FUSÉE

Deux piliers clés propulseront l'adoption des SMR, les rendant plus viables économiquement et rapidement déployables :

- Accélération du délai de mise sur le marché, et
- Optimisation du coût unitaire.

La maîtrise de ces deux piliers clés améliorera la viabilité commerciale et les investissements liés aux SMR, tout en renforçant l'adhésion du public vis-à-vis de l'énergie nucléaire dans son ensemble, et des SMR en particulier.

Les délais de mise sur le marché peuvent être réduits en utilisant des pratiques avancées de conception et de gestion de projet, notamment la technologie des jumeaux numériques et les simulations basées sur l'IA, pour optimiser les calendriers d'assemblage, améliorer l'allocation des ressources et identifier les goulots d'étranglement potentiels dans le processus de déploiement. L'analyse des données peut être exploitée pour identifier les goulots d'étranglement et les jumeaux numériques, y compris un jumeau de construction, qui peut être utilisé pour des itérations rapides afin de rationaliser la résolution de problèmes et de converger rapidement vers la solution idéale. L'IA et l'automatisation des processus métier peuvent être déployées pour réduire la charge de travail globale et améliorer l'efficacité en éliminant les tâches fastidieuses et routinières, telles que l'élaboration des spécifications et des contrats de la chaîne d'approvisionnement, ou le développement de packages de construction.

De plus, les retards de calendrier ont un impact considérable sur les coûts globaux du projet, car les coûts d'exécution se poursuivent tout au long du retard, et le retour sur investissement global est retardé à mesure que le projet se prolonge.

La réduction des coûts n'est pas seulement importante d'un point de vue commercial, elle est également nécessaire si l'énergie nucléaire veut rivaliser avec d'autres sources d'énergie de grande capacité. Récemment, les grands réacteurs nucléaires ont fait face à d'importants dépassements de coûts et à des problèmes d'investissement. Or, les SMR permettent de résoudre

le problème des dépenses d'investissement. Là où une grande centrale nucléaire à deux tranches a coûté jusqu'à 30 milliards de dollars US, un SMR pourrait être construit pour environ 1 à 2 milliards de dollars US par unité à grande échelle.

Pour parvenir à la fois à une réduction des coûts d'installation et à une mise sur le marché plus rapide, il faut exploiter la continuité numérique avancée et les technologies centrées sur les données pour maximiser l'efficacité, garantir la collaboration entre les parties prenantes et gérer un processus de construction complexe impliquant plusieurs projets, sites et utilisateurs finaux. La même base numérique prendra en charge des opérations hautement efficaces et une haute disponibilité tout au long de la durée de vie de l'actif, ce qui en fera un ajout précieux au portefeuille de l'utilisateur final. Cela signifie que les actifs numériques doivent être gérés dès leur création et tout au long de leur cycle de vie afin de garantir un processus de développement transparent et de soutenir la croissance des actifs. En d'autres termes, l'industrie intelligente.

La continuité numérique est maintenue en dupliquant l'actif numériquement. Les jumeaux numériques permettent aux organisations de superviser les actifs, de surveiller les opérations en cours et d'entreprendre une maintenance prédictive. Les informations tirées du jumeau numérique peuvent également être intégrées dans des cycles de conception itératifs pour générer des améliorations continues. En outre, une approche centrée sur les données se traduira par une « source unique de vérité (de conception) », éliminant les inefficacités d'une approche centrée sur les documents et réduisant le risque inhérent d'interfaces ou de « transferts ».

L'application de la continuité numérique et l'utilisation des leviers numériques dès les premiers stades du processus de développement augmentent la confiance des investisseurs et sont considérées comme un avantage concurrentiel par les utilisateurs finaux. En outre, une base numérique solide permettra aux fournisseurs de SMR d'améliorer leur offre et d'inclure un modèle opérationnel et les solutions numériques associées pour les nombreux nouveaux venus dans les opérations nucléaires.

UNE INDUSTRIE INTELLIGENTE POUR L'EFFICACITÉ

La production de SMR nécessite de se concentrer sur la maturité de la conception, le calendrier de construction et la préparation de l'entreprise pour respecter les délais et s'adapter rapidement à la demande prévue. L'industrie intelligente, éprouvée dans des secteurs connexes, constitue la base pour atteindre ces objectifs.

Maturité de conception

Pour rendre une conception mature et résiliente, les organisations peuvent utiliser des outils numériques de pointe tels que des logiciels de conception avancés et des simulations. Ces outils permettent de garantir que le projet est rentable tout en respectant les normes de sécurité et réglementaires.

Une plateforme de données solide et collaborative constitue le fondement de l'industrie intelligente. Une telle plate-forme est nécessaire pour garantir la continuité des données et l'approche centrée sur les données requise pour la résilience de la conception. La plate-forme de données constitue la base de la réalisation de la conception détaillée au sein d'une solution avancée de gestion du cycle de vie du projet (PLM) étroitement intégrée à un jumeau de conception numérique. Cette base devient la source unique de vérité en matière de conception et définit les exigences pour le calendrier de construction, la supply chain et les opérations.

Calendrier de construction

Il est possible de révolutionner complètement la planification et l'exécution des projets, ainsi que l'engagement de la supply chain, grâce à l'intégration de technologies numériques avancées et de partenaires clés (par exemple, le secteur civil) pour optimiser le calendrier de construction. L'analyse en temps réel, la prise de décisions guidée par les données et les processus automatisés améliorent la rapidité et la collaboration, tout en minimisant les interruptions ou les reprises de travail pour surmonter le paradigme du changement, en passant d'une organisation centrée sur les documents à une organisation centrée sur les données.

Le jumeau de construction, qui s'appuie sur la plate-forme de données et sur une conception résiliente, permet de répondre rapidement et d'intégrer les nombreuses demandes de modifications sur le terrain, provenant de la construction inédite, afin de les évaluer efficacement. Il permet de mettre à jour les modifications de la conception et d'intégrer les modifications approuvées sur le terrain dans un calendrier de construction révisé et dans les passations des marchés, le cas échéant.

La solution avancée de gestion du cycle de vie du projet (PLM) et la plate-forme de données permettent l'intégration des fournisseurs et l'automatisation de processus favorisant leur réactivité, la transparence et la qualité. Enfin, la plate-forme de données, la conception et les jumeaux de construction peuvent servir à réaliser des analyses avancées afin d'identifier les goulets d'étranglement et d'élaborer rapidement des solutions qui maintiendront ou accéléreront les progrès par rapport au calendrier.

Préparation de l'entreprise

Une organisation peut optimiser sa préparation grâce à la mise en œuvre stratégique d'un progiciel de gestion intégré (ERP). L'adoption de solutions de gestion des fournitures et des achats, ainsi que des systèmes RH, peut contribuer à améliorer la communication, à rendre l'allocation des ressources plus efficace et à promouvoir une culture de l'innovation qui permet à l'organisation de prospérer.

L'extension de l'industrie intelligente et de la plate-forme numérique à l'ERP améliorera la préparation au déploiement à grande échelle selon les exigences du marché. De plus, le jumeau numérique peut être étendu pour inclure un jumeau de maintenance, afin de prendre en charge la maintenance avant déploiement, la surveillance de l'état, la formation et le transfert de connaissances, dans le but d'accélérer la transition jusqu'à la mise en service. Quant à la plate-forme numérique et à la solution PLM avancée, elles permettent l'intégration d'un EAM avancé et des systèmes associés, ce qui accélère la mise en service tout en capturant la conception « telle que construite » via la plate-forme de données pour assurer la gestion de la configuration pendant toute la durée de vie de l'actif.



Voir grand avec la technologie de virtualisation

Lors de la construction d'un SMR, les approbations et les inspections jouent un rôle clé pour garantir que les composants répondent aux normes requises. L'intégration de la technologie de virtualisation pourrait révolutionner ce domaine.

En virtualisant l'ensemble du processus de fabrication, y compris les usines, les chaînes d'approvisionnement et les flux de matériaux, une vue complète du processus de production émergerait.

Dans une réalité augmentée et virtuelle, les fournisseurs pourraient observer la progression des composants à travers différentes étapes et voir leur assemblage se transformer en modules. De plus, des capteurs de contrôle pourraient permettre une surveillance et une analyse en temps réel des opérations.

Les clients auraient la possibilité d'accéder à cet environnement virtuel et de suivre l'état de leur commande, depuis la phase de fabrication jusqu'à l'assemblage et l'expédition éventuelle. L'expérience immersive – utilisant des lunettes virtuelles – pourrait offrir une transparence sans précédent, éliminant toute possibilité de dissimulation ou de retard.

Appliquer le concept de réalité augmentée et virtuelle à la fabrication d'un SMR modifierait notre compréhension de l'ensemble du paysage de production. Qu'il s'agisse d'une seule ligne de fabrication, d'un centre d'opérations ou d'une installation de conception, le métaverse permet une intégration transparente de divers domaines, brouillant efficacement les frontières entre eux.

L'intégration de la technologie de virtualisation au sein de l'industrie manufacturière offre des possibilités de transformation qui ouvrent la voie à des niveaux sans précédent de transparence, d'efficacité et de responsabilité.



TIRER PARTI DE L'INNOVATION DANS TOUS LES SECTEURS

En soi, le secteur du nucléaire ne s'est pas vraiment adapté au numérique au fil des ans et, dans certains domaines, il accuse plusieurs décennies de retard par rapport à d'autres secteurs. Pour garantir que le marché émergent des SMR progresse à la vitesse nécessaire, les fournisseurs doivent se tourner vers d'autres secteurs pour trouver des technologies qu'ils peuvent réappliquer ou dont ils peuvent tirer des leçons.

Les fournisseurs de réacteurs peuvent observer comment les nouvelles technologies ont été déployées ailleurs dans le secteur de l'énergie ou s'inspirer de l'industrie aéronautique très réglementée afin de comprendre les bonnes pratiques pour commercialiser efficacement des produits de haute technologie dans le monde virtuel. Les constructeurs aéronautiques élaborent des avions très complexes sous forme de modules assemblés et déployés en usine, en coordonnant une supply chain mondiale pour plusieurs sites de fabrication, tout en maintenant des normes de qualité et de sécurité sans compromis.

Dans l'industrie aéronautique, Intelligent Industry est utilisé lors des phases de conception initiales pour rationaliser divers

processus, tels que l'obtention des approbations réglementaires de conception et la réalisation de simulations virtuelles. Ces étapes répondent de manière préventive aux défis potentiels avant le début de toute fabrication physique. Lors de la conception d'un nouvel avion, les avionneurs soumettent l'avion à des tests numériques rigoureux dans une gamme de scénarios. Ces simulations servent à tester la conception jusqu'à ce qu'elle atteigne un niveau de performance optimale.

Il existe des similitudes significatives entre les fournisseurs de SMR, avec leur construction modulaire en chaîne d'assemblage de l'îlot nucléaire, la coordination de dizaines de fournisseurs et leur construction à grande échelle avec une qualité sans compromis. L'aérospatiale utilise des opérations intelligentes et l'optimisation de la chaîne d'approvisionnement pour réussir, avec des plates-formes numériques, l'interopérabilité des données et des accélérateurs. La construction d'un gros avion de ligne ou d'un SMR implique la conception, l'approvisionnement et l'assemblage de dizaines de milliers de pièces provenant d'une chaîne d'approvisionnement mondiale pour construire un produit à grande échelle et à un haut niveau de qualité.



TERMINER EN TÊTE

Intelligent Industry est un accélérateur permettant aux fournisseurs SMR de respecter les calendriers de construction agressifs et non éprouvés et de se préparer à la construction et au déploiement à grande échelle. L'efficacité, la collaboration et la coordination requises entre plusieurs parties prenantes mondiales ainsi que la livraison multi-sites et multi-projets nécessitent une base et une solution numériques solides. Les fournisseurs de SMR comprennent qu'un partenaire solide en matière d'ingénierie, d'approvisionnement et de construction (EPC) est important pour leur succès à long terme. Mais ils doivent également être sûrs que leur partenaire numérique peut les aider à tenir leurs promesses en matière de maturité de conception, de calendrier de construction et de préparation de l'entreprise aux SMR.

Chez Capgemini, nous bénéficions d'une vaste expérience du secteur nucléaire, mais surtout, nous travaillons dans de nombreux secteurs. Nous aidons ainsi les entreprises à transformer leurs opérations avec une approche numérique centrée sur les données et axée sur l'innovation. Nous aidons à simplifier la coordination complexe de la conception, de la fabrication et de l'assemblage grâce à notre expertise en ingénierie de solutions numériques. En nous appuyant sur nos connaissances, notre expérience et nos résultats éprouvés, nous aidons les fournisseurs de réacteurs à garder une longueur d'avance sur le marché des SMR.



À propos de Capgemini

Capgemini est un leader mondial dans le partenariat avec les entreprises pour transformer et gérer leur activité en exploitant la puissance de la technologie. Le Groupe est guidé au quotidien par sa raison d'être : libérer les énergies humaines par la technologie pour un avenir inclusif et durable. Il s'agit d'une organisation responsable et diversifiée comptant près de 350 000 collaborateurs dans plus de 50 pays. Fort de plus de 55 ans d'expérience et d'une grande expertise des différents secteurs d'activité, Capgemini est reconnu par ses clients pour répondre à l'ensemble de leurs besoins, de la stratégie et du design jusqu'au management des opérations, en tirant parti des innovations dans les domaines en perpétuelle évolution du cloud, des données, de l'IA, de la connectivité, des logiciels, de l'ingénierie numérique et des plateformes. Le Groupe a réalisé en 2022 un chiffre d'affaires mondial de €22 milliards

Obtenez l'avenir que vous souhaitez | www.capgemini.com